

LE GARDON D'ANDUZE ET LA MÉTHODE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

Jean-Louis BALLAIS ⁽¹⁾

(1) : CEGA – UMR 6012 "ESPACE" du CNRS, UFR des Sciences Géographiques et de l'Aménagement, Université de Provence, 29 avenue Robert Schumann, 13621 AIX-EN-PROVENCE cedex 01.
Courriel : jean-louis.ballais@wanadoo.fr .

RÉSUMÉ : Le Gardon d'Anduze a joué un rôle singulier dans la naissance et le développement de la méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables. Il occupe une place de choix dans le premier exposé systématique de la méthode (M. MASSON *et al.*, 1996) puis dans certains développements postérieurs comme la cartographie, l'étude de l'évolution des lits majeurs, la reconnaissance de glacis fonctionnels.

MOTS-CLÉS : risques naturels, inondation, épistémologie.

ABSTRACT : The Gardon d'Anduze river had a specific role in the discovery of the liable to flooding areas hydrogeomorphological method as well as in the development of this method. It got a good place in the first synthetic presentation of the method (M. MASSON *et al.*, 1996) then in some later development such as mapping, study of flood plain evolution and discovery of functional glacis.

KEY-WORDS : natural hazards, flood, epistemics.

I - INTRODUCTION

Le Gardon d'Anduze a été associé très étroitement à la naissance, puis au développement, de la méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables. La raison principale en a été la réhabilitation des lits de la rivière à Attuech, réhabilitation qui a été confiée au Centre d'Études Techniques de l'Équipement (CETE) Méditerranée, en la personne de Marcel MASSON, inventeur de la méthode hydrogéomorphologique. À partir de cette possibilité, largement exploitée, d'étudier et de cartographier les lits, les hasards et les circonstances ont permis de développer et d'approfondir la méthode.

II - LE GARDON D'ANDUZE, LA NAISSANCE DE LA MÉTHODE ET LES PREMIÈRES CARTOGRAPHIES

1) La naissance de la méthode

Les principes de la méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables sont posés, pour la première fois, en 1983 (M. MASSON, 1983) à la suite de l'adoption de la loi TAZIEFF (13 juillet 1982) qui initie une active politique de l'État en matière de catastrophes

naturelles par l'indemnisation des victimes et la réalisation de Plans d'Exposition aux Risques (PER – G. GARRY *et al.*, 2002).

Le Gardon d'Anduze tient une part importante dans les prémisses de cette méthode hydrogéomorphologique, car il était alors le lieu d'un aménagement dans la commune d'Attuech (Fig. 1), sous la direction du CETE Méditerranée. Il s'agissait, en particulier, de réhabiliter les lits de la rivière affectés par d'importantes extractions de matériaux en prenant en compte les aménagements hydrauliques consécutifs à la grande crue de 1958. C'est alors que l'utilisation de la stéréoscopie de photos aériennes a prouvé son utilité pour la délimitation des lits du cours d'eau. C'est une méthode rien moins que révolutionnaire et sophistiquée, qui était enseignée en routine dans les universités, en particulier en géographie. Grâce à des missions aériennes à bonne échelle (1/10 000 à 1/20 000), elle a permis de bien repérer et cartographier les talus qui séparent les différents lits, ainsi que le principal d'entre eux, celui qui sépare le lit majeur de l'encaissant, ici une terrasse pléistocène caillouteuse. De plus, par comparaison entre les missions de 1945 et de 1961, elle a permis de montrer le rétrécissement du lit mineur et la végétalisation du lit moyen (Fig. 2). Il faut remarquer que le hasard a été ici très favorable, car les limites des différents lits du Gardon

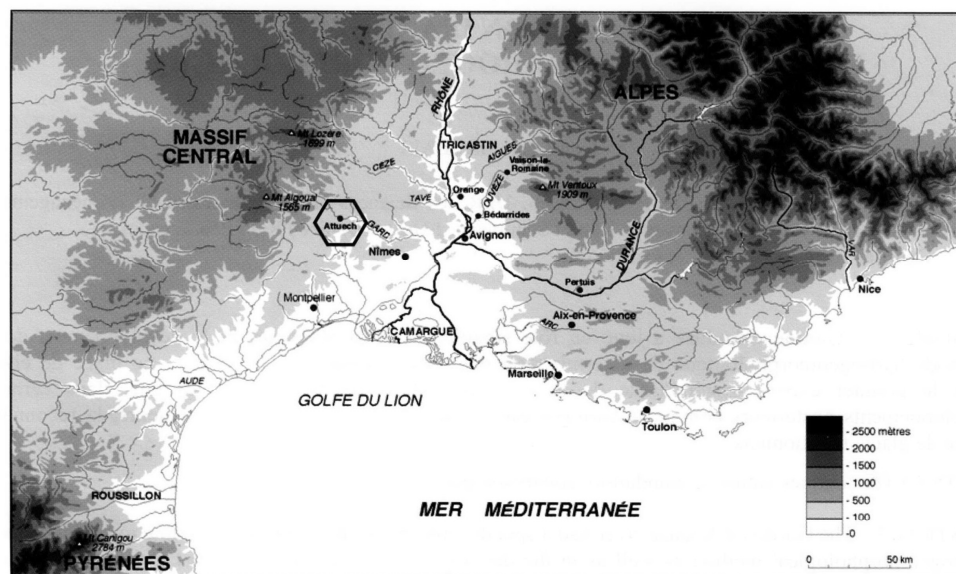


Figure 1 - Carte de localisation.

d'Anduze sont particulièrement nettes, bien marquées par des talus hauts et abrupts, ce qui est loin d'être toujours le cas.

Dans ces conditions, tout naturellement, le Gardon d'Anduze a eu une place de choix dans le premier exposé systématique publié sur la méthode hydrogéomorphologique (M. MASSON *et al*, 1996) : exemple de lit moyen (p. 31), talus de séparation du lit majeur et de la terrasse alluviale (p. 33), occupation du sol (p. 38 et 41), modélisation hydraulique (p. 44), lit en tresses (p. 48), rôle du facteur géologique (p. 51), exemples de carte géomorphologique (Fig. 3) et de carte d'occupation des sols d'Attuech (p. 66-67), effet du recalibrage (p. 69).

2) Le développement de la méthode

Le Gardon d'Anduze a également joué un rôle important dans le développement de la méthode, car les premiers travaux rappelés ci-dessus ont constitué une base solide sur laquelle s'appuyer pour y effectuer des stages de formation et des études plus fines. De plus, la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) du Gard et la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) du Languedoc-Roussillon, alertées par la catastrophe de Nîmes en 1988 et soucieuses des risques encourus par les populations des plaines alluviales fonctionnelles des Gardons et de leurs principaux affluents, ont commandé une

vaste cartographie hydrogéomorphologique qui a été achevée à l'été 2002. Enfin, autre hasard (?), une nouvelle très grande crue, localement plus importante que celle de 1958, s'est produite à l'automne 2002 et a dû faire l'objet de vérifications cartographiques, de nouvelles recherches universitaires et de nouvelles cartographies.

3) Les stages de formation

De mars 1998 à octobre 2000, quatre stages d'initiation à la méthode et à la cartographie hydrogéomorphologiques ont été organisés dans la vallée du Gardon d'Anduze, sous l'égide de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, à destination soit des techniciens et ingénieurs des services décentralisés de l'État, soit d'ingénieurs de bureaux d'étude, une soixantaine de stagiaires au total. Outre la cartographie, encore élémentaire puisque mise en œuvre par un public constitué de non géomorphologues, ces stages ont été l'occasion de soulever des problèmes d'inondabilité, comme par exemple : la présence de la Tour de Barre, bâtiment médiéval, dans le lit mineur du Gardon (S. BOYER, 2001) ; l'exposition aux inondations de l'ensemble du village de Cardet, y compris le château et l'église du XVIII^{ème} siècle (un mètre d'eau dans cette dernière en 1958, selon madame la maire) ; le rôle des obstacles transversaux (remblai et pont de chemin de fer) sur la limite de la zone inondable ; l'existence de glacis fonctionnels.

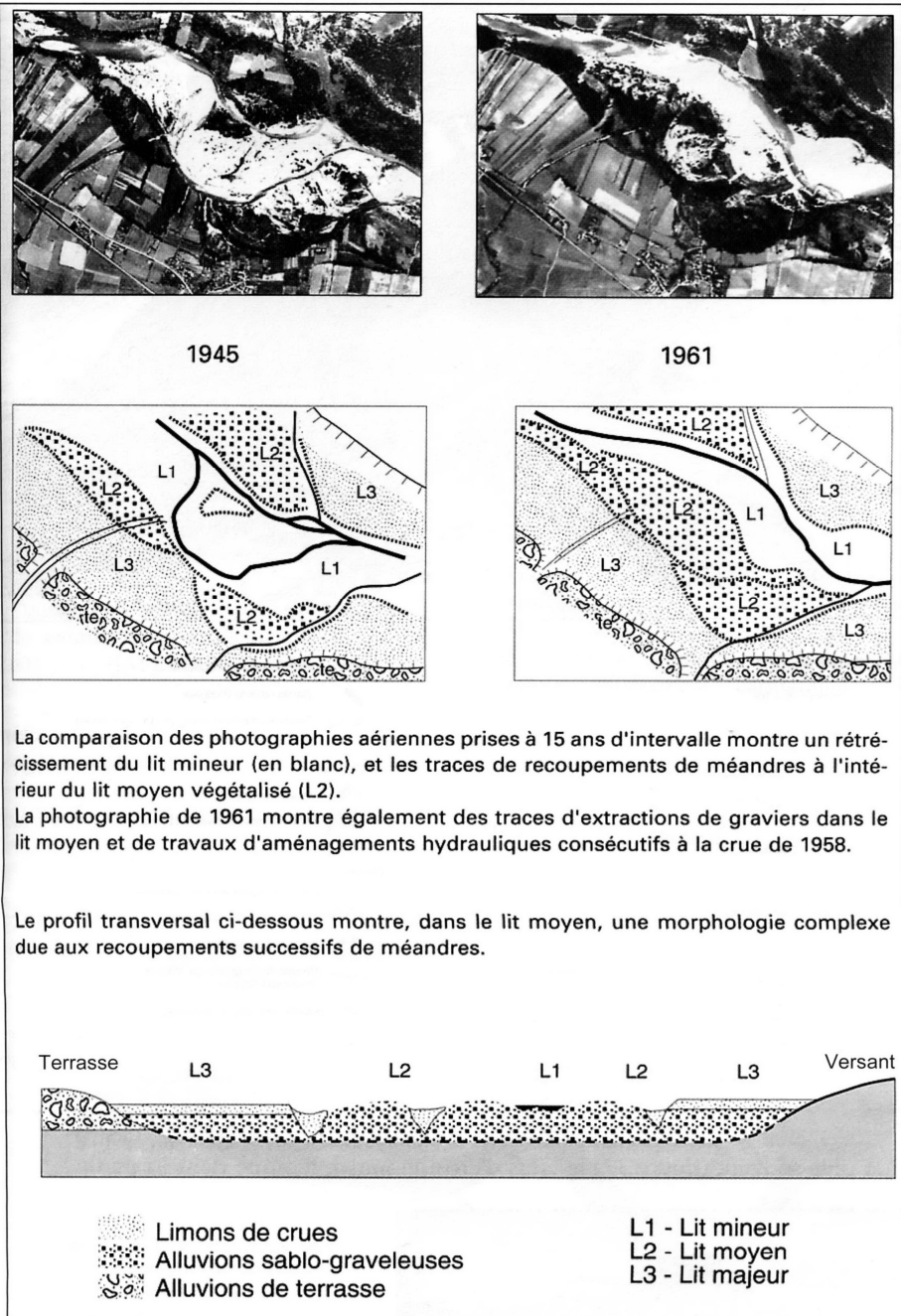


Figure 2 - Évolution des lits du Gardon d'Anduze à Attuech entre 1945 et 1961.
(in M. MASSON *et al.*, 1996)

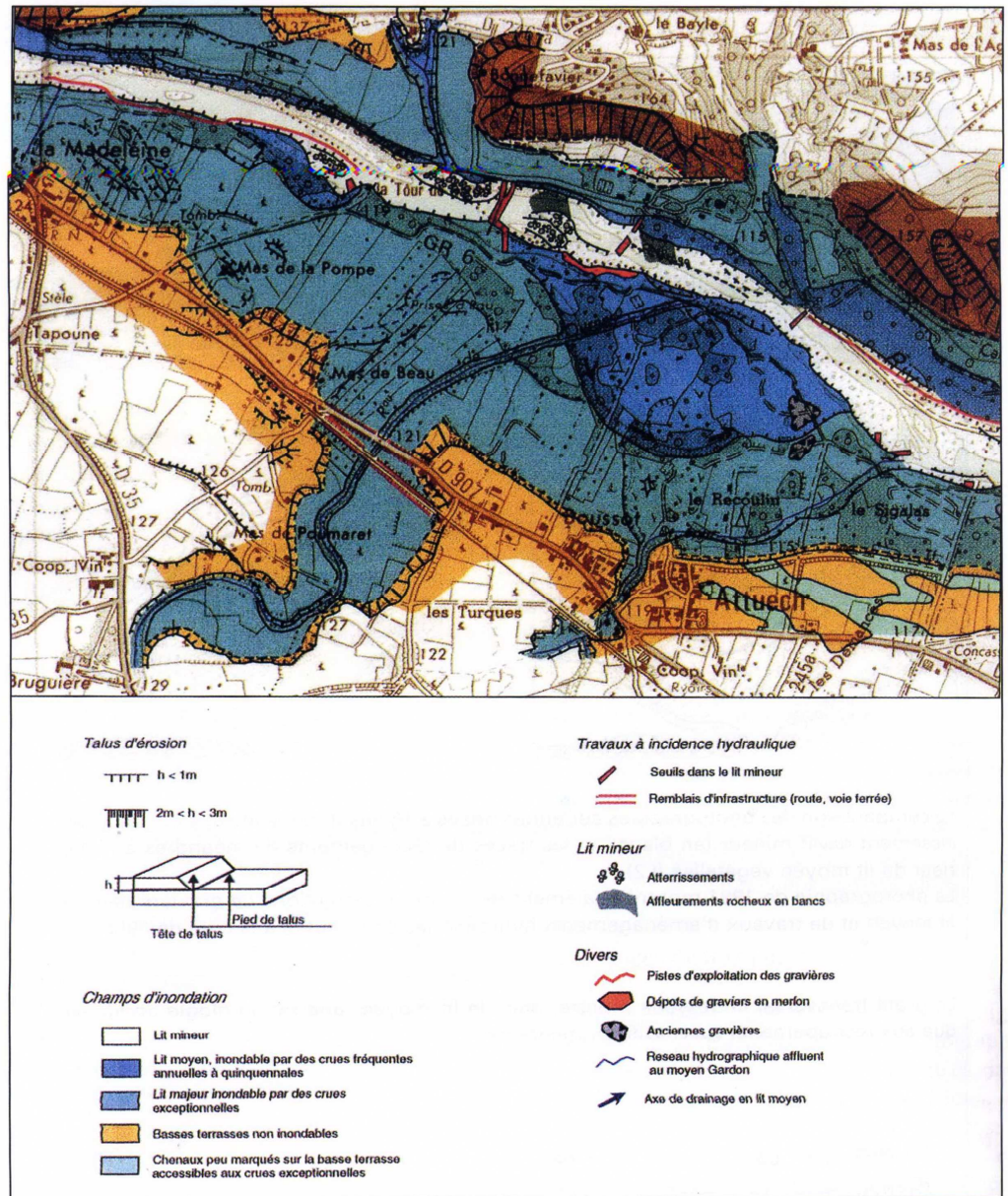


Figure 3 - Carte géomorphologique d'Attuech. (in M. MASSON *et al.*, 1996)



Photo 1 - Dépôts de la crue de 2002 sur le court de tennis d'Attuech (lit majeur du Gardon d'Anduze).

III - LES NOUVELLES RECHERCHES ET CARTOGRAPHIES

1) Histoire et évolution des lits du Gardon d'Anduze

Certains des problèmes soulevés à l'occasion des stages de formation, en particulier l'évolution du tracé des lits mineur et moyen (Fig. 4) et celle des inondations, ont été repris ensuite dans le cadre de recherches universitaires (S. BOYER, 2001).

Par ailleurs, plusieurs études, notamment à la suite de la catastrophe de Vaison-la-Romaine le 22 septembre 1992 (G. ARNAUD-FASSETTA *et al*, 1993), avaient montré l'importance de l'accumulation de sédiments dans le lit majeur à l'occasion de ces inondations rares. Le lit majeur du Gardon d'Anduze, toujours à Attuech, en a fourni la confirmation : grâce à l'utilisation de cosmonucléides (Tab. I), il a été possible de montrer que la crue de 1958 avait déposé plus de 30 cm de sédiments sur le lit majeur (P. BONTE *et al*, 2001 ; J.L. BALLAIS *et al*, 2004).

2) Amélioration de la cartographie hydrogéomorphologique

Plus largement, la bonne connaissance de

la plaine alluviale fonctionnelle du Gardon d'Anduze a été utilisée pour préciser les normes de représentation cartographique, ainsi que la dynamique des lits majeurs. Les différentes étapes de l'évolution de la cartographie hydrogéomorphologique sont détaillées par ailleurs (J.L. BALLAIS, 2006). Il s'agit simplement ici de préciser qu'une tentative de cartographie en noir et blanc (Fig. 5) a été effectuée (J.L. BALLAIS *et al*, 1999) qui a confirmé la nécessité impérieuse de l'utilisation de la couleur pour un document destiné à un public de non spécialistes. La première carte hydrogéomorphologique publiée, celle d'Attuech (M. MASSON *et al*, 1996), représentait le lit mineur en blanc, le lit moyen en bleu soutenu et le lit majeur en bleu-vert. L'homogénéisation de la représentation dans le cadre des Atlas des Zones Inondables (MEDD, 2001) a finalement retenu un dégradé de bleu du lit moyen au lit majeur ordinaire et au lit majeur exceptionnel.

Enfin, la cartographie hydrogéomorphologique commandée par la DIREN Languedoc-Roussillon et la DDE du Gard a permis que le Gardon soit le premier cours d'eau français important entièrement cartographié (serveur cartographique de la DIREN Languedoc-Roussillon, sur le site <http://carto.languedoc-roussillon.environnement.gouv.fr/sites/projets>).

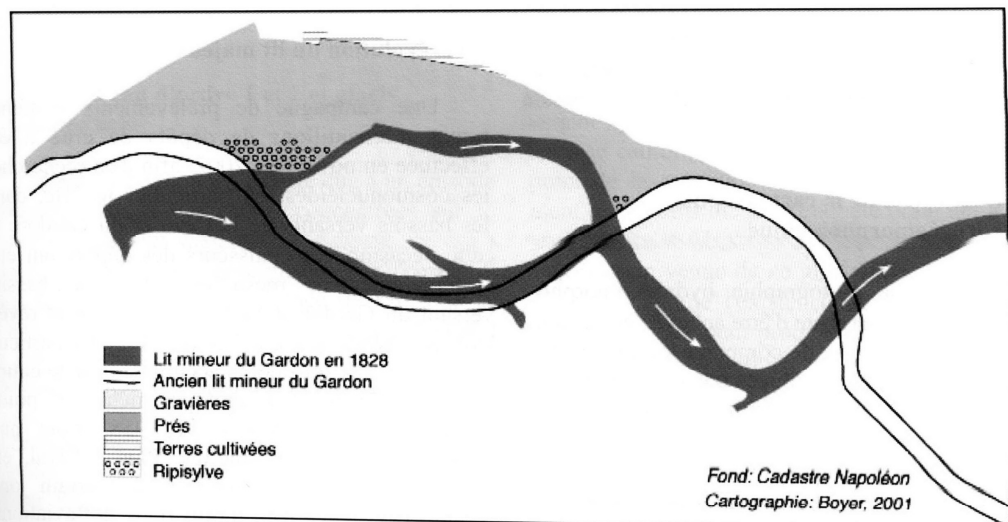


Figure 4 - Évolution du lit mineur du Gardon.
(in S. BOYER, 2001)

Tableau I - Cosmonucléides de la carotte du lit majeur du Gardon d'Anduze à Attuech.

a) Radioisotopes artificiels de la carotte du lit majeur du Gardon à Attuech.

	^{137}Cs (Bq/kg)	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg) 1 mai 1986	^{134}Cs (Bq/kg) 1 mai 1986	^{137}Cs bombes
EIS1-12	33,9 +- 0,4	0,37 +- 0,14	43,3 +- 0,5	13,0 +- 4,8	13,6
EIS1-11 _{milieu}	16,6 +- 0,3	< 0,30	21,1 +- 0,3	< 10,5	16,6
EIS1-11 _{base}	4,7 +- 0,3	< 0,46	6,0 +- 0,4	< 16,3	4,7
EIS1-8	11,7 +- 0,3	< 0,28	15,0 +- 0,3	< 9,8	11,7
EIS1-7	< 0,4	< 0,37	< 0,5	< 13,2	0,0
EIS1-6	< 0,4	< 0,43	< 0,5	< 15,2	0,0
EIS1-3	< 0,4	< 1,17	< 0,6	< 41,4	0,0
EIS1-1	< 0,5	< 0,47	< 0,7	< 16,5	0,0

b) Radioisotopes naturels de la carotte du lit majeur du Gardon à Attuech.

	^{210}Pb (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (Bq/kg)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
EIS1-12	92,2 +- 2,0	42,3 +- 0,3	50 +- 2	2,70 +- 0,03	3,4 +- 0,03	13,8 +- 0,1
EIS1-11 _{milieu}	62,1 +- 1,7	45,8 +- 0,3	16 +- 2	2,82 +- 0,02	3,7 +- 0,02	15,4 +- 0,1
EIS1-11 _{base}	63,5 +- 3,6	43,4 +- 0,5	21 +- 4	2,79 +- 0,04	3,5 +- 0,04	15,9 +- 0,2
EIS1-8	57,5 +- 1,6	37,7 +- 0,3	20 +- 2	2,77 +- 0,02	3,0 +- 0,02	13,2 +- 0,1
EIS1-7	34,6 +- 2,6	28,5 +- 0,4	< 8	2,89 +- 0,03	2,3 +- 0,03	10,5 +- 0,1
EIS1-6	26,6 +- 2,1	28,1 +- 0,4	< 6	2,86 +- 0,04	2,3 +- 0,03	10,1 +- 0,1
EIS1-3	35,3 +- 4,1	32,0 +- 0,4	< 13	2,89 +- 0,03	2,6 +- 0,03	13,9 +- 0,1
EIS1-1	40,2 +- 2,7	32,3 +- 0,5	< 8	2,70 +- 0,04	2,6 +- 0,04	11,1 +- 0,1

IV - LES CONSÉQUENCES DE
L'INONDATION DE 2002

L'inondation de l'automne 2002, à nouveau catastrophique, a encore accéléré les recherches et la cartographie, sur l'ensemble du bassin versant du Gardon.

1) L'efficacité de la cartographie
hydrogéomorphologique

Comme la cartographie hydrogéomorphologique venait tout juste d'être achevée et validée, l'occasion a été saisie de comparer les limites des zones inondées, reconstituées par le repérage des laisses de crue, avec les limites retenues sur les cartes hydrogéomorphologiques. Le relevé des laisses de crue dans le bassin versant du Gardon a été effectué par un bureau d'étude différent de celui qui avait effectué la cartographie hydrogéomorphologique (ce qui ne fut malheureusement pas le cas pour le bassin versant de la Cèze). La comparaison des deux limites (C. ESPOSITO,

2003) montre que, dans 85 % des cas, l'inondation n'a pas dépassé les limites cartographiées de la zone inondable.

2) L'évolution du lit majeur

Une campagne de prélèvements systématiques d'échantillons de dépôts de crue a été effectuée en novembre 2002, afin d'en rechercher les cosmonucléides, en particulier le ^{7}Be , dans les bassins versants de la Cèze et du Gardon. À cette occasion, les épaisseurs des dépôts ont été systématiquement mesurées. Dans le bassin versant du Gardon d'Anduze, elles se sont révélées très inférieures à celles de 1958. En particulier, à Attuech, les dépôts accumulés sur le cours de tennis (Photo 1), à quelques mètres du point de carottage des dépôts de 1958, n'ont pas dépassé quelques millimètres. Plus à l'aval, en Gardonnenque, les recherches de terrain ont montré l'existence d'au moins deux défluviations et d'un lit majeur exceptionnel (C. ESPOSITO, 2003 ; H. AIMON, 2003).

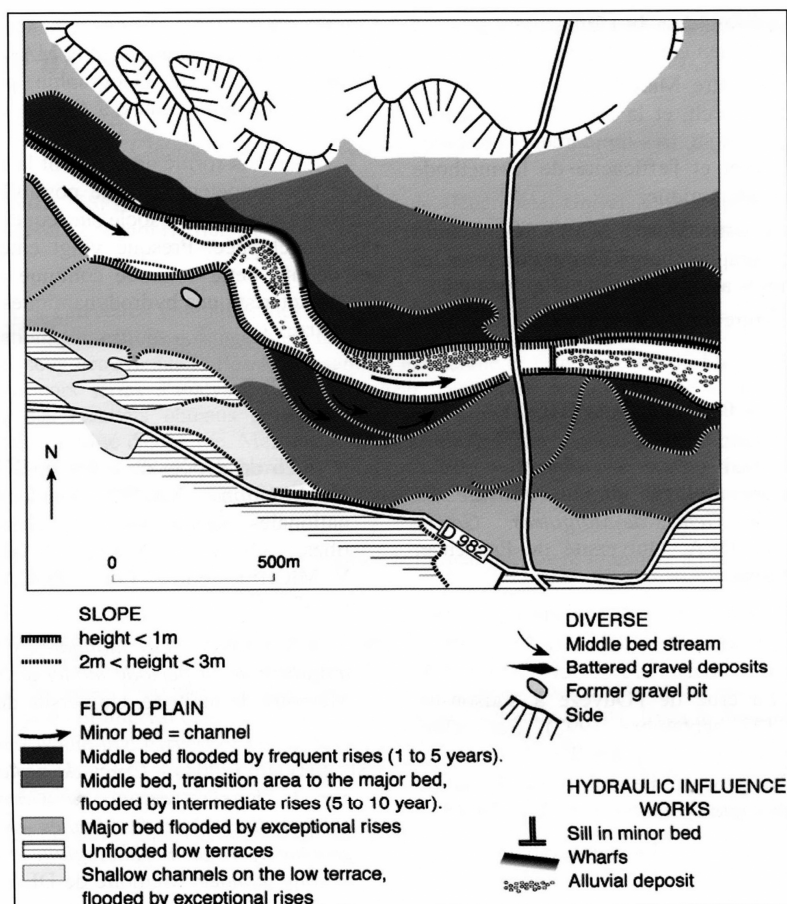


Fig. 5 - Cartographie hydrogéomorphologique d'Attuech.
(in J.L. BALLAIS *et al.*, 1999)

3) Cours d'eau d'ordre 1 et 2 et glacis fonctionnels

Cette inondation n'a pas été due à un épisode cévenol, mais à des pluies concentrées sur le piémont, avec un maximum à Anduze, ce qui a provoqué des crues généralisées sur l'ensemble des cours d'eau, à la différence de l'épisode de 1958. En conséquence, des cours d'eau d'ordre 1 à 2 ont provoqué des dégâts importants, ce qui a poussé la DDE du Gard à programmer toute une série de Plans de Prévention des Risques d'Inondations (PPRI), principalement en Gardonnenque. Cette nouvelle cartographie sur des cours d'eau très mal connus a permis de nouvelles avancées concernant leurs plaines alluviales fonctionnelles (J.L. BALLAIS *et al.*, soumis). Dans le cas du Gardon d'Anduze, elle a permis la cartographie précise des glacis fonctionnels de Cardet, glacis entaillés à l'amont dans les basses

pententes marneuses des collines de rive droite et venant appuyer leur couverture limoneuse sur la terrasse caillouteuse du Pléistocène supérieur, au point de la recouvrir souvent. Leur fonctionnement a été confirmé par l'enquête orale qui a mis en évidence le décalage de plusieurs heures entre l'inondation venue de ce glacis et celle venue du Gardon. Comme l'existence de glacis fonctionnels a été également prouvée en Gardonnenque, il a été proposé de rajouter un figuré "glacis" dans la légende de l'Atlas des Zones Inondables (J.L. BALLAIS, 2006).

V - CONCLUSION

En fait, rien ne prédisposait le Gardon d'Anduze à devenir un terrain privilégié de mise au point et de perfectionnement de la méthode

hydrogéomorphologique. Il a finalement joué ce rôle grâce à plusieurs conjonctions :

- D'abord celle entre Marcel MASSON, qui est intervenu à Attuech, et la DIREN Languedoc-Roussillon, qui a su, très rapidement, comprendre tout l'intérêt et l'efficacité de la méthode hydrogéomorphologique.
- Ensuite, celle entre Marcel MASSON et Gérard GARRY (géographe chargé de mission pour les risques naturels au Ministère de l'Équipement).
- Enfin, celle entre les protagonistes précédents et

moi-même, grâce à l'enseignement que nous donnions en commun, Marcel MASSON et moi, dans le DEA de Géographie physique de l'Université de Provence, à Aix.

Ainsi s'est formé un trio dont la complémentarité de compétences et de possibilités d'intervention a constitué le socle sur lequel la méthode s'est développée. Presque vingt cinq ans après ses débuts, cette méthode continue à bénéficier des caractéristiques hydrodynamiques du Gardon d'Anduze.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIMON H. (2003) - *Détermination d'un niveau intermédiaire dans la plaine alluviale du Gardon (St Geniès-de-Malgoirès, Gard)*. Mémoire de DEA, Université de Provence, 91 p. + annexes.
- ARNAUD-FASSETTA G., BALLAIS J.L., BÉGUIN É., JORDA M., MEFFRE J.C., PROVANSAL M., RODITIS J.C. et SUANEZ S. (1993) - La crue de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine (22 septembre 1992). Ses effets morphodynamiques, sa place dans le fonctionnement d'un géosystème anthropisé. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, n° 2, p. 34-48.
- BALLAIS J.L. (2006) - La cartographie hydrogéomorphologique. *BAGF - Géographies*, accepté.
- BALLAIS J.L., BONTE P. et MASSON M. (1999) - Modern evolution of mediterranean flood plains (France). *The environmental background to Hominid evolution in Africa*, p. 15.
- BALLAIS J.L., BONTE P., MASSON M., GARRY G., BEN KEHIA H., EYRAUD C. et GHAM A. (2004) - L'évolution du risque d'inondation par les cours d'eau méditerranéens français : le rôle de l'accumulation dans le lit majeur. *BAGF - Géographies*, n° 1, p. 64-74.
- BALLAIS J.L., CHAVE S., DELORME V. et ESPOSITO C. (soumis) - Hydrogéomorphologie et inondabilité. *Géographie Physique et Quaternaire*.
- BONTE P., BALLAIS J.L., MASSON M., BEN KEHIA H., EYRAUD C., GARRY G. et GHAM A. (2001) - Datations au ^{137}Cs , ^{134}Cs et ^{210}Pb de dépôts de crues du XX^{ème} siècle. In : *Datation, XXI^{èmes} Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*, J.N. BARRANDON, P. GUIBERT et V. MICHEL édit., Édit. APDCA, Antibes, p. 141-157.
- BOYER S. (2001) - *Les inondations du Gardon d'Anduze de la période moderne à nos jours*. Mémoire de maîtrise, Université de Provence, 73 p.
- ESPOSITO C. (2003) - *Crues de septembre 2002 sur le bassin versant du Gardon, Étude comparative entre les limites de la cartographie hydrogéomorphologique et le relevé de la zone inondée*. Mémoire de DEA, Université de Provence, 40 p. + annexes.
- GARRY G., BALLAIS J.L. et MASSON M. (2002) - La place de l'hydrogéomorphologie dans les études d'inondation en France méditerranéenne. *Géomorphologie*, n° 1, p. 5-15.
- MASSON M. (1983) - *Essai de cartographie des champs d'inondation par photo-interprétation*. Rapport CETE Aix en Provence - STU, 47 p.
- MASSON M., GARRY G. et BALLAIS J.L. (1996) - *Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique*. Ministère de l'Équipement, Ministère de l'Environnement, Paris, 100 p.
- MEED (2001) - *Termes de référence d'un CCTP des Atlas des Zones Inondables, Annexe A*. Ministère de l'Écologie et du développement durable, 4 p.